Exercices de **P**hysique du **B**âtiment **I**

Série 5 - Complément de corrigé :

I. Diagramme psychrométrique (Mollier): «Mode d'emploi»

II. Questions

III. Problèmes 1-3

I. Diagramme psychrométrique (Mollier): «Mode d'emploi» *[slides 3-8]*

Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

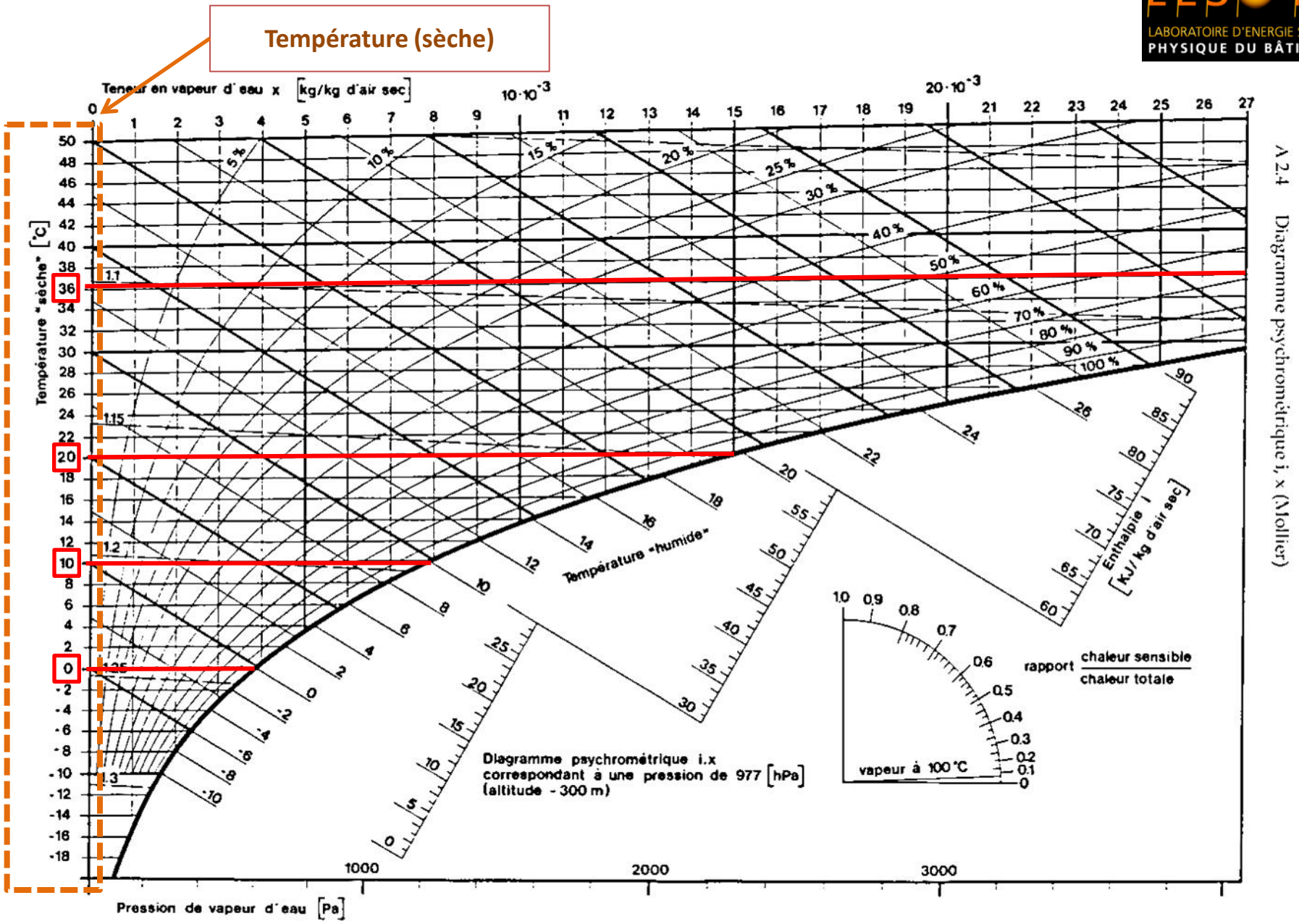

Température (sèche)
Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Enthalpie i [kJ/kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
Diagramme psychrométrique i.x
correspondant à une pression de 977 [hPa]
(altitude - 300 m)
vapeur à 100 °C
Pression de vapeur d'eau [Pa]
A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

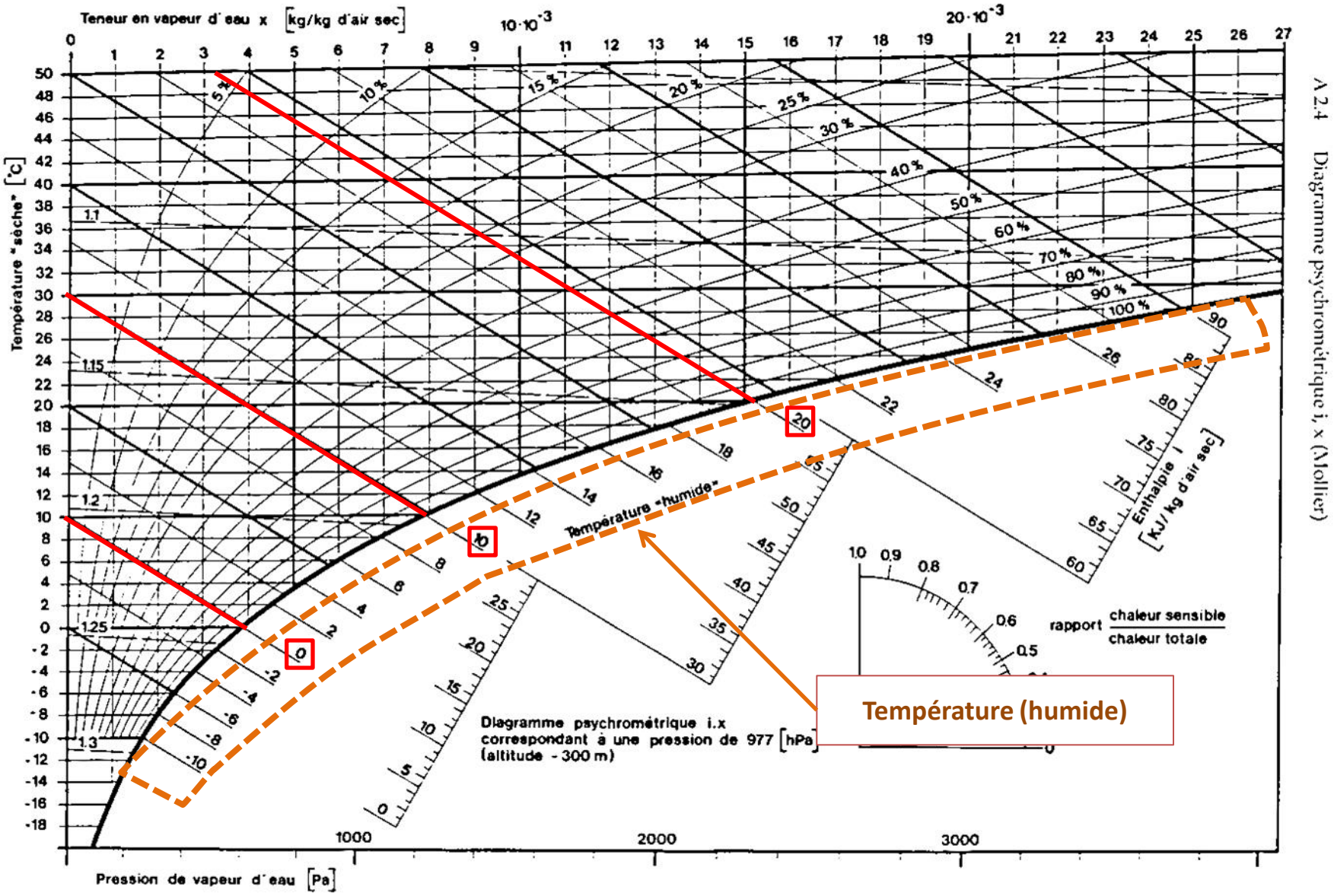
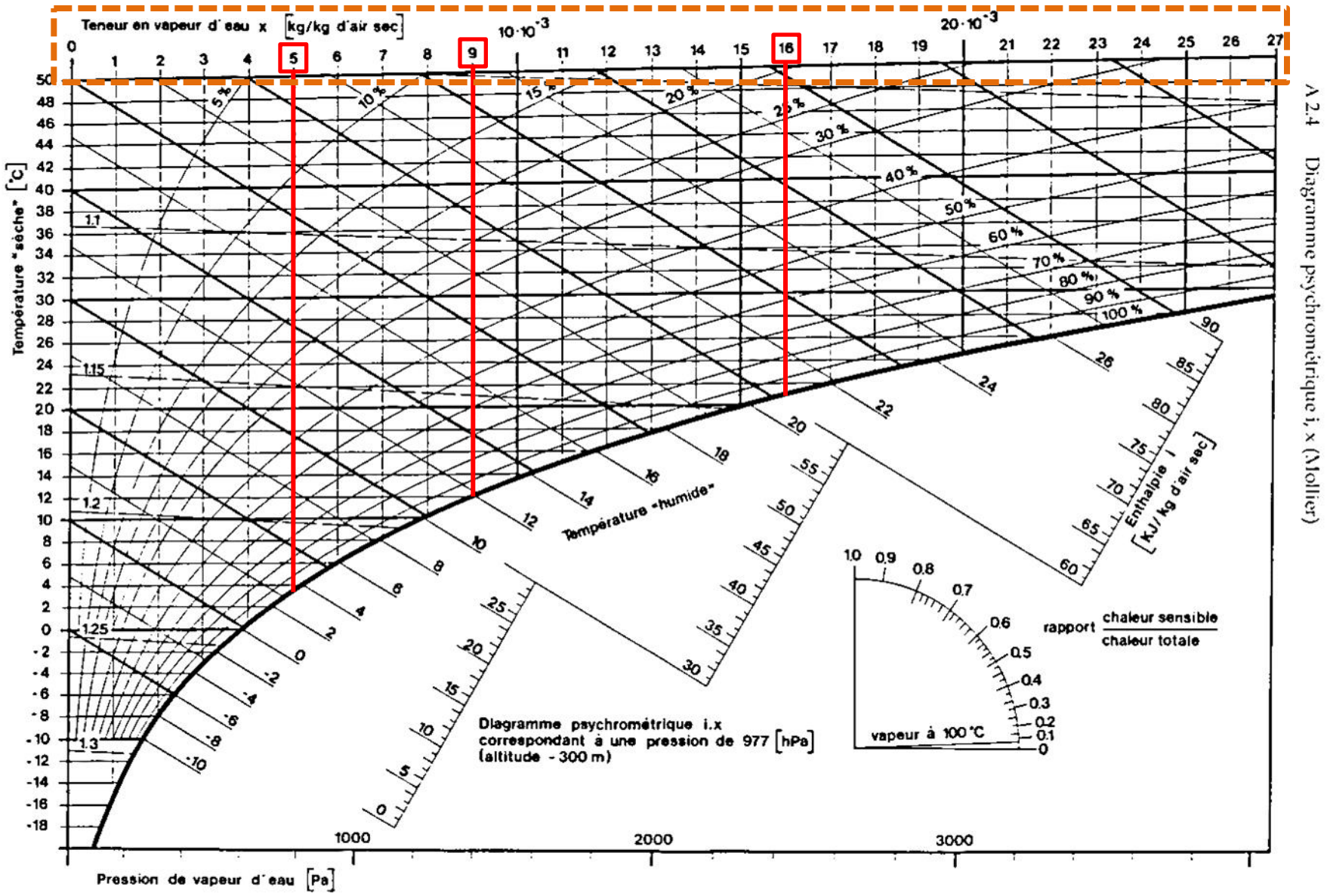

Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Pression de vapeur d'eau [Pa]
Température "humide"
Enthalpie I [KJ/kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
Température (humide)
A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

Teneur en vapeur d'eau


Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Enthalpie I [KJ/kg d'air sec]
Pression de vapeur d'eau [Pa]
Diagramme psychrométrique i.x
correspondant à une pression de 977 [hPa]
(altitude - 300 m)
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C

A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

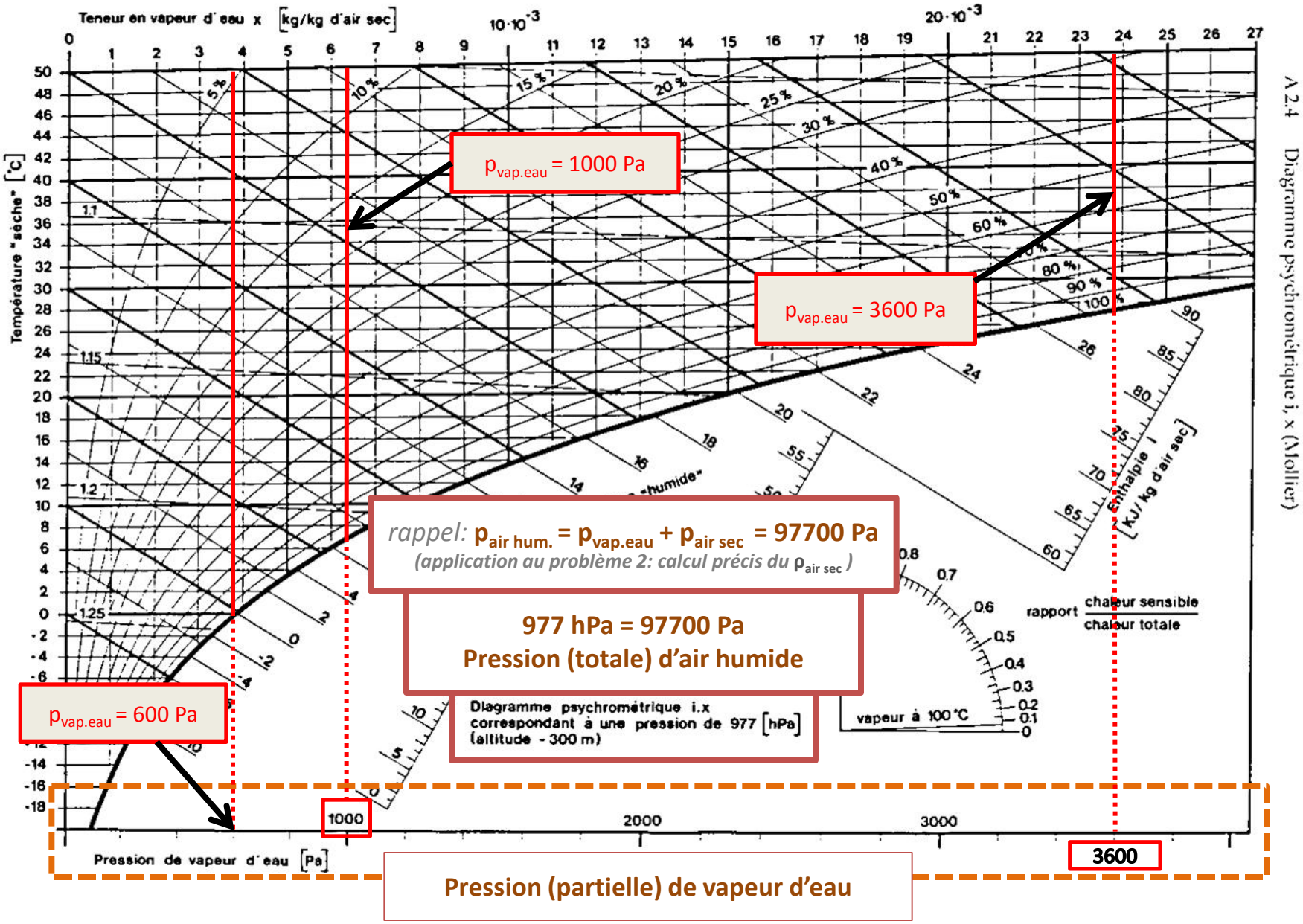

Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Pression de vapeur d'eau [Pa]
1000
2000
3000
3600
$p_{vap.eau}$ = 1000 Pa
$p_{vap.eau}$ = 3600 Pa
$p_{vap.eau}$ = 600 Pa
rappel: $p_{air\ hum.} = p_{vap.eau} + p_{air\ sec}$ = 97700 Pa
(application au problème 2: calcul précis du $p_{air\ sec}$)
977 hPa = 97700 Pa
Pression (totale) d'air humide
Diagramme psychrométrique i,x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
Pression (partielle) de vapeur d'eau
Enthalpie [KJ/ kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C
A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

LABORATOIRE D'ENERGIE SOLAIRE
PHYSIQUE DU BÂTIMENT

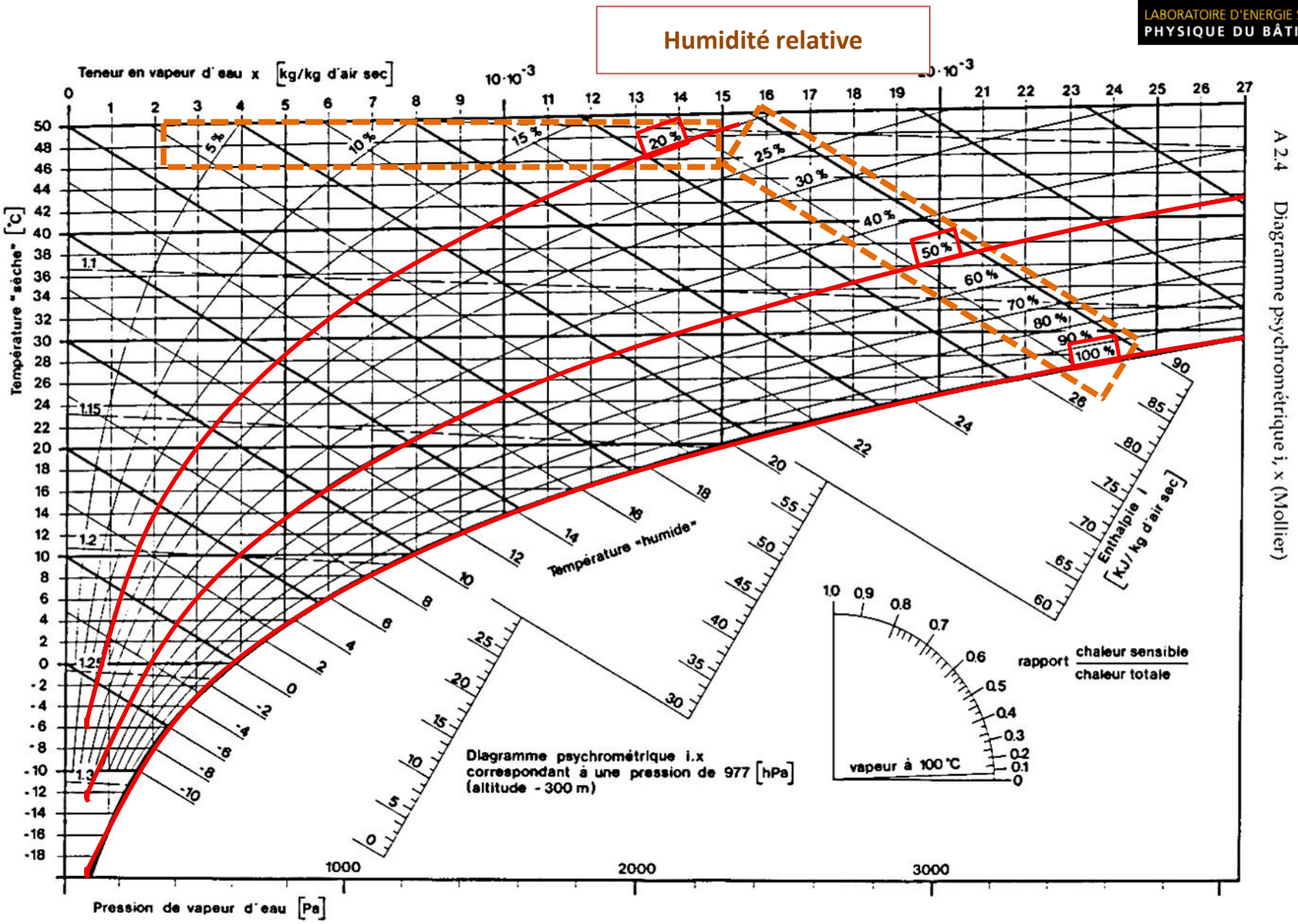
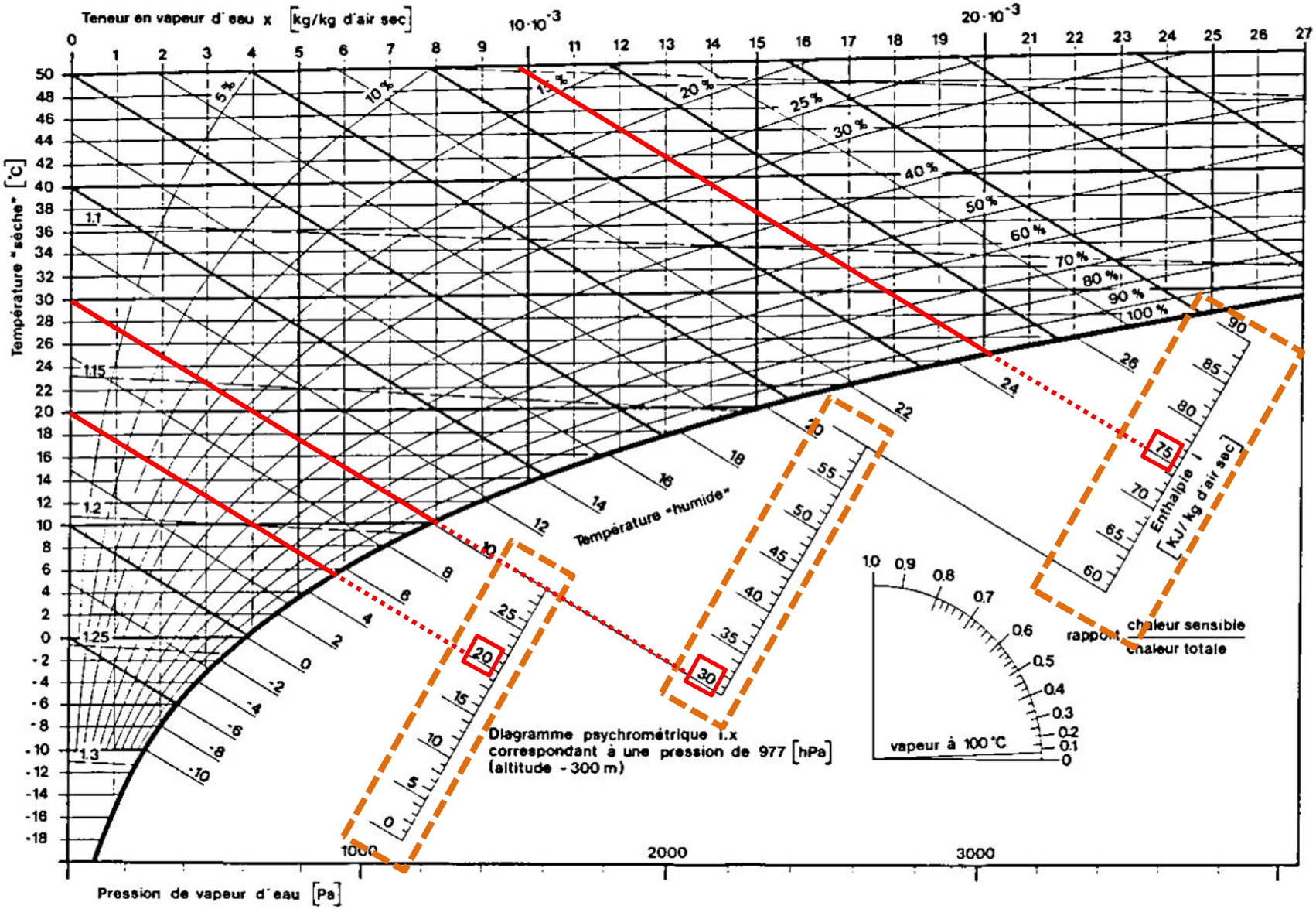


Diagramme psychrométrique i-x (Mollier): *Mode d'emploi!*

Enthalpie


Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Enthalpie i [kJ/kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C
Pression de vapeur d'eau [Pa]
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

II. Questions

Question 1

Humidité relative = fraction de vapeur d'eau contenue dans l'air relativement à ce qu'il peut contenir au maximum (saturation)

$$HR = \frac{HA}{HA_{sat}} = \frac{p_{vap}}{p_{sat}}$$

Loi des gaz parfaits : $\mathrm{p} \,.\, \mathrm{V} = \mathrm{n} \cdot R \cdot T = m_{H_2O} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}}$

$$p_{vap} = \frac{m_{H_2O}}{V} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}} \quad \rightarrow \quad p_{vap} = HA \,.\, \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}}$$

et $$p_{sat} = HA_{sat} \cdot \frac{R \cdot T}{M_{H_2O}}$$

donc $$\frac{p_{vap}}{p_{sat}} = \frac{HA}{HA_{sat}}$$

Question 2

Point de rosée : Température à laquelle la vapeur d'eau se condense

Le point de rosé est dépendant de l'humidité relative

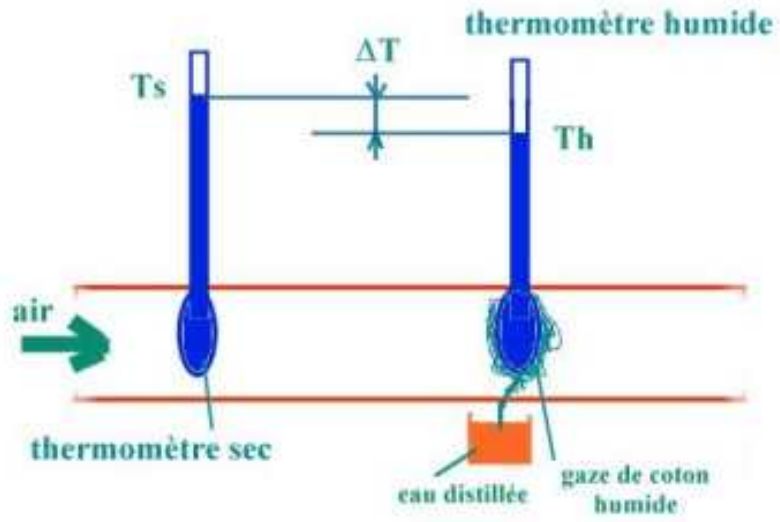
En refroidissant une surface, on peut observer à partir de quelle température la condensation se forme.

Question 4

(Voir page 2.8 - 2.9 du polycopié)

Le thermomètre humide est plus froid que le thermomètre sec car l'évaporation de l'eau nécessite de l'énergie (chaleur).

Si l'humidité relative est de 100%, les 2 thermomètres auront la même température car l'eau ne pourra pas s'évaporer.



http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/capteurs/chimi/chap_h1.htm

Question 5

- **On fait varier la température (T) de l'air intérieur d'un bâtiment.**

Comment varient -ils:

1. La masse volumique de l'air (ρ) ?

Lorsque $\mathbf{T} \uparrow, \boldsymbol{\rho} \downarrow, \boldsymbol{m_{air}} \downarrow$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot \mathrm{T} \Rightarrow \quad \boldsymbol{\rho = p \cdot \frac{M_{air}}{R \cdot T}} \qquad \left(\rho = \frac{m_{air}}{V}, n = \frac{m_{air}}{M_{air}}, p = Constante\right)$$

2. La masse de l'air (m_{air}) ?

$$\rho = \frac{m_{air}}{V}, V\ est\ fixe \Rightarrow$$

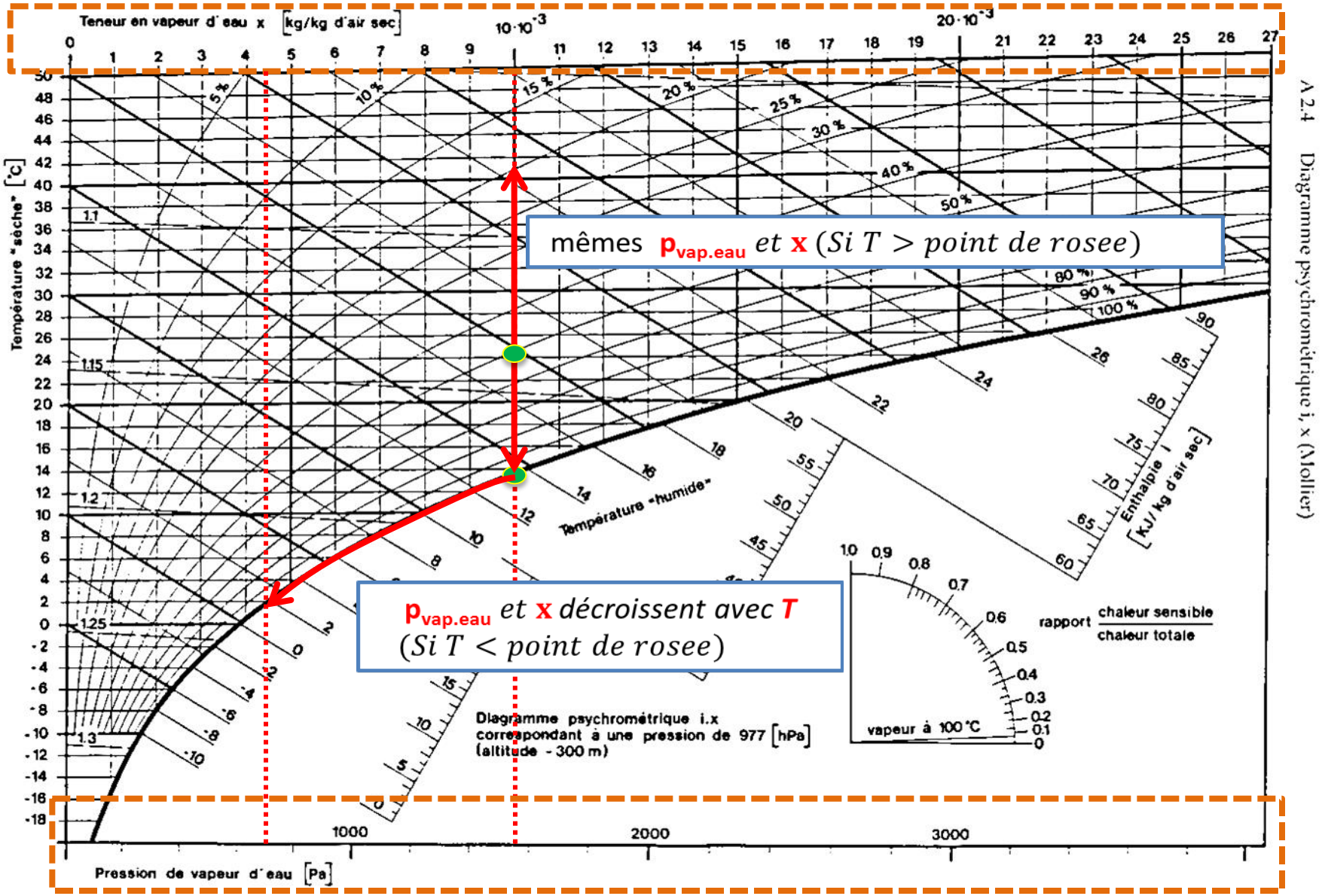
3,4. Pression part. de vap. d'eau ($p_{vap.eau}$) et la teneur en vapeur d'eau (x)?

Indépendantes de la **T** $(Si\ T > point\ de\ rosee)$

Elles décroissent avec **T** $(Si\ T < point\ de\ rosee)$ ★

(à expliquer avec le Diagramme psychrométrique i-x)

Question 5.


Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Enthalpie I [KJ/kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
Pression de vapeur d'eau [Pa]
même $p_{vap.eau}$ et x ($Si\ T > point\ de\ rosee$)
$p_{vap.eau}$ et x décroissent avec T ($Si\ T < point\ de\ rosee$)

A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Question 5.

- **On fait varier la température (T) de l'air intérieur d'un bâtiment.**

Comment varient -ils:

1. La masse volumique de l'air (ρ) ? Lorsque T ↑, ρ ↓

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \quad \rho = p \cdot \frac{M_{air}}{R \cdot T} \qquad \left(\rho = \frac{m_{air}}{V}, n = \frac{m_{air}}{M_{air}}, p = Constante\right)$$

2. La masse de l'air (m_{air}) ? $\rho = \frac{m_{air}}{V}, V\ est\ fixe \Rightarrow$ Lorsque T ↑, ρ ↓, m_{air} ↓

3,4. Pression part. de vap. d'eau ($p_{vap.eau}$) et la teneur en vapeur d'eau (x)?

Indépendantes de la T $(Si\ T > point\ de\ rosee)$

Elles décroissent avec T $(Si\ T < point\ de\ rosee)$ ★

(à expliquer avec le Diagramme psychrométrique i-x)

5. L' humidité absolue (HA)?

$$HA = \rho_{vap.eau} = \frac{m_{vap.eau}}{V}, V\ est\ fixe \Rightarrow$$

Lorsque T ↑, ρ ↓, HA ↓

$HA = HA_{sat}$ $(Si\ T < point\ de\ rosee)$ ★

En diminuant la T en dessous le point de rosée on observe la condensation de l'eau; la quantité de la $m_{vap.eau}$ diminue et donc la HA (= ρ) diminue (voir aussi Annexe A 2.2).

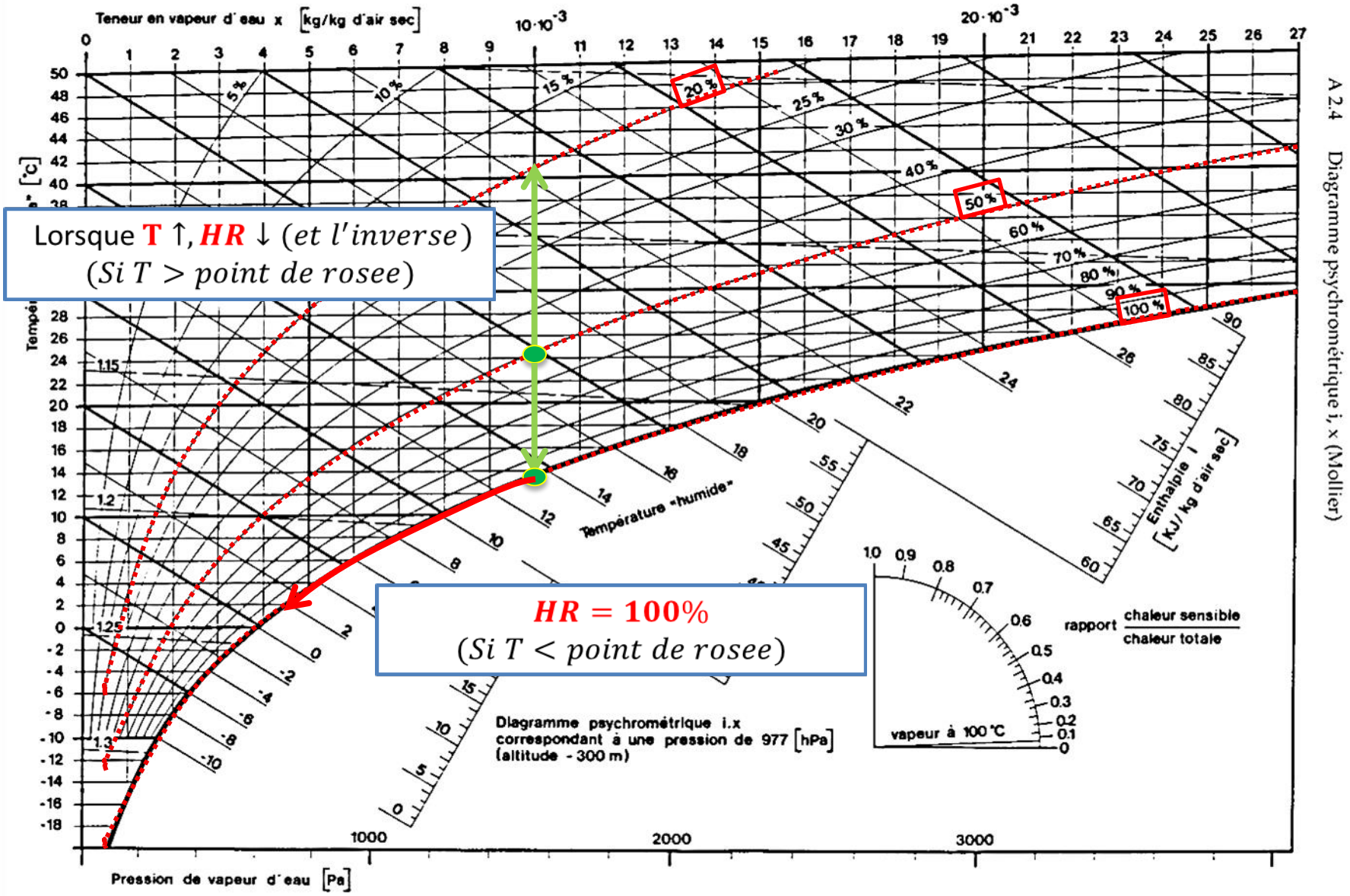
6. L' humidité relative (HR)?

Lorsque T ↑, HR ↓ $(Si\ T > point\ de\ rosee)$

$HR = 100\%$ $(Si\ T < point\ de\ rosee)$ ★

(à expliquer avec le Diagramme psychrométrique i-x)

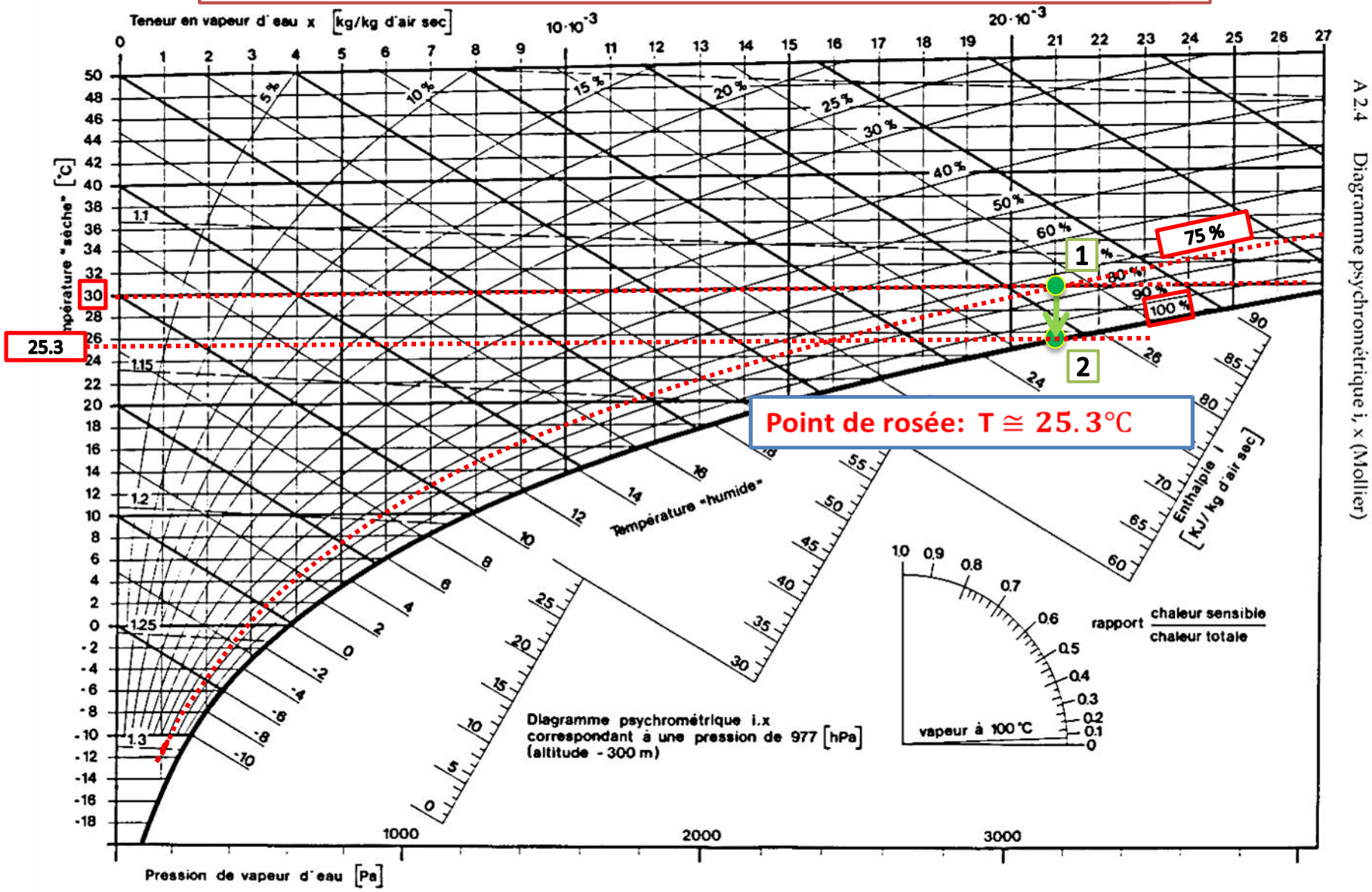
Question 5.


Lorsque T ↑, HR ↓ (et l'inverse)
(Si T > point de rosee)
HR = 100%
(Si T < point de rosee)
Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "humide"
Enthalpie I [KJ/ kg d'air sec]
rapport chaleur sensible / chaleur totale
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
Pression de vapeur d'eau [Pa]
A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

III. Problèmes

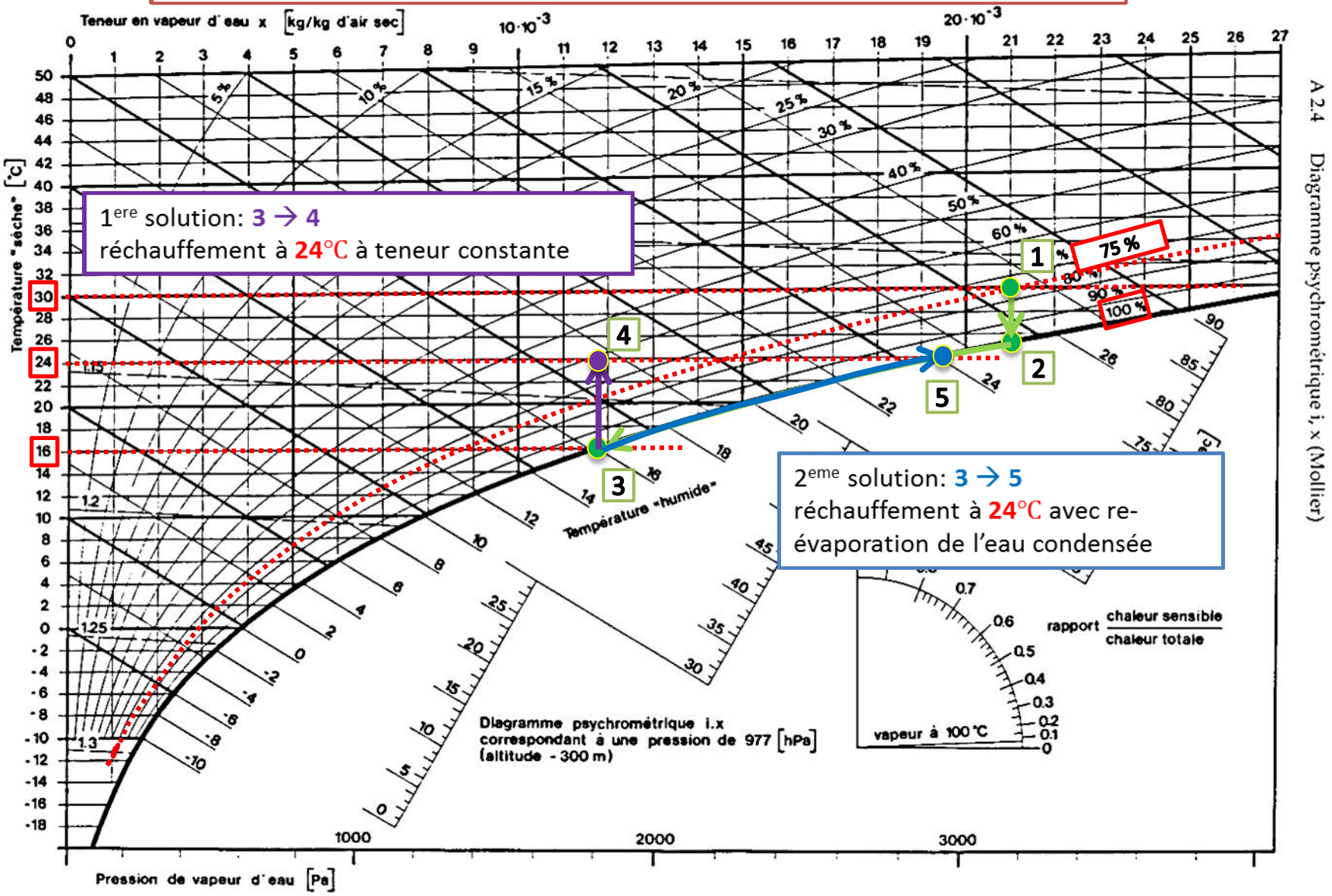
Probleme 1.

- Le point de rosée est la **température** **T** à laquelle il faudrait refroidir l'air pour arriver à saturation (**HR = 100 %**), à teneur en vapeur d'eau constante (point **2**)



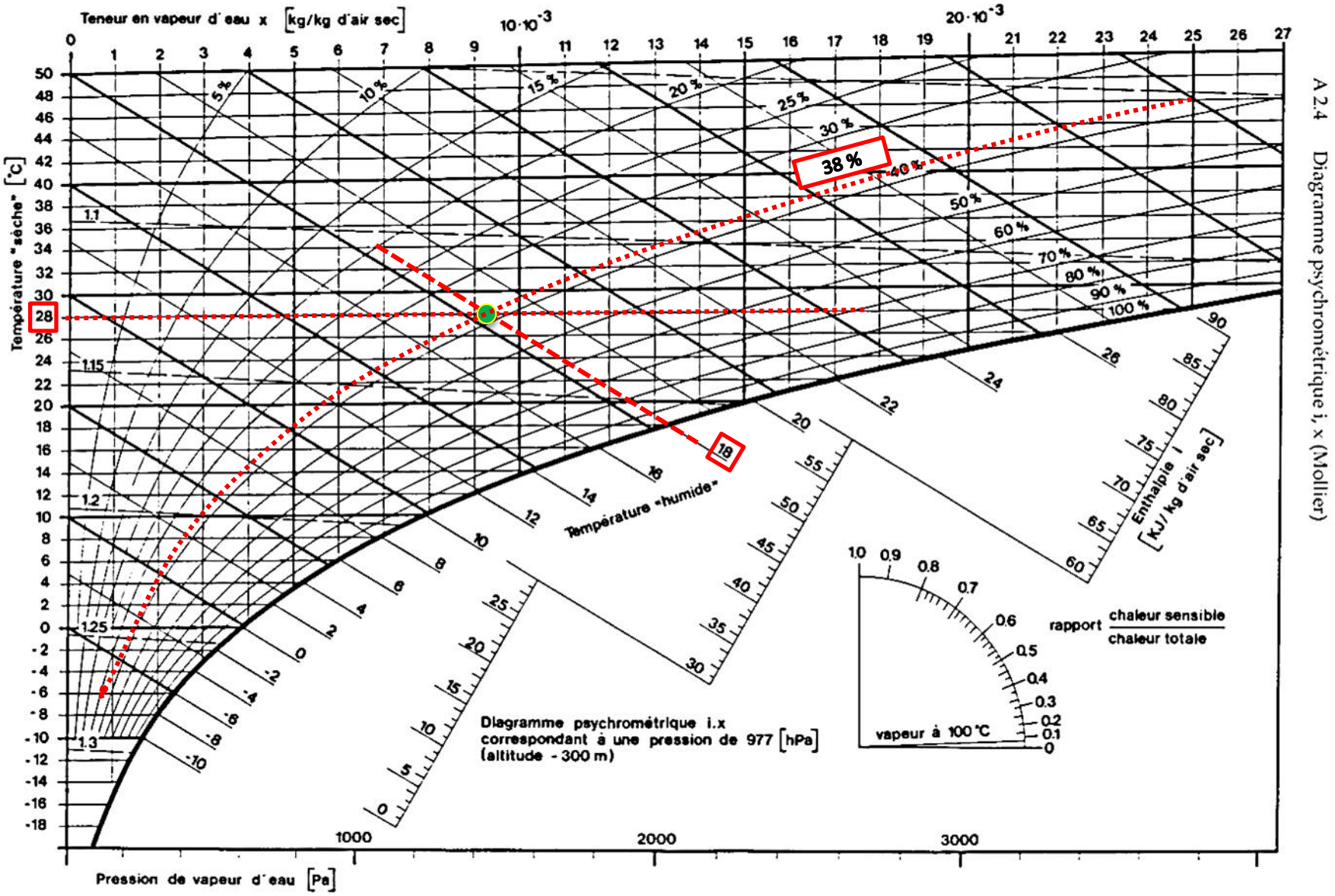
Probleme 2.

- On remonte la température à **24 °C**


Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Pression de vapeur d'eau [Pa]
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C
1ere solution: 3 → 4
réchauffement à 24°C à teneur constante
2eme solution: 3 → 5
réchauffement à 24°C avec re-évaporation de l'eau condensée
1
2
3
4
5
75 %
100 %

A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)

Probleme 3b.


Teneur en vapeur d'eau x [kg/kg d'air sec]
Température "sèche" [°C]
Température "humide"
Enthalpie i [kJ/kg d'air sec]
Pression de vapeur d'eau [Pa]
38 %
Diagramme psychrométrique i.x correspondant à une pression de 977 [hPa] (altitude - 300 m)
rapport chaleur sensible / chaleur totale
vapeur à 100 °C

A 2.4 Diagramme psychrométrique i, x (Mollier)